

미 군사규격을 적용한 레이더 전력공급용 이동식 컨테이너의 Random Vibration 해석

도재석*, 허장욱*[#]

*금오공과대학교 기계공학과(항공기계전자융합공학전공)

Random Vibration Analysis of Portable Power Supply Container for Radar With U.S. Military Standards

Jae-Seok Do*, Jang-Wook Hur*[#]

*Department of Mechanical Engineering (Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering of Mechanical Engineering), Kumoh National Institute of Technology

(Received 05 February 2022; received in revised form 08 June 2022; accepted 12 July 2022)

ABSTRACT

In times of war or emergencies, weapon systems, such as radars, must receive stable power. This can be achieved using improved onboard portable power systems made of steel containers. However, a breakdown can occur in the event of random vibration during transportation via a vehicle or train. Electrical-power shortages or restrictions pose a significant threat to security. In this study, Composite Wheeled Vehicle(CWV) data and rail cargo data with Acceleration Spectral Density(ASD), specified in MIL-STD-810H METHOD 514.8, were interpreted as input data of the three-axis random vibration method using ANSYS 19.2. Modal analysis was performed up to 500 Hz, and deformations in modes 1 to 117 were calculated to utilize all ASD data. The maximum equivalent stress in the three-axis direction was obtained using a random vibration analysis. Similarly, the margin of safety was calculated using the derived equivalent stress and material properties. Overall, the analysis verified that the portable container designed for the power supply system satisfied the required vibration demands.

Keywords : Random Vibration Analysis(랜덤 진동해석), Power Supply Container(전력공급용 컨테이너), Modal Anlysis(모달 해석), Margin of Safety(안전여유)

기호 설명

$M.S$	Margin of Safety, 안전여유	
$F.S$	Factor of Safety, 안전계수	
σ_y	Yield Strength, 항복강도	[MPa]
σ	Applied Stress, 부가응력	[MPa]

1. 서론

전시 상황에서는 레이더와 같은 무기체계의 전 원공급을 위해 전원공급용 이동식 컨테이너의 발전시설이 필요하다. 이러한 전력공급용 컨테이너가 운송 장비에 탑재되어 이송될 때 컨테이너에 불규칙적인 진동이 지속적으로 가해짐으로써 컨테이너 구조물이 진동에 노출되게 된다. 특히, 차량

Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr
Tel: +82-54-478-7399

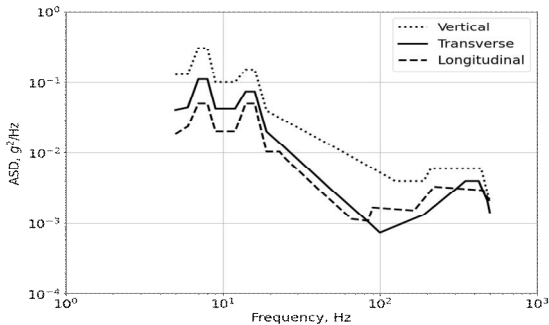


Fig. 1 CWV vibration exposure convert to ASD

Table 1 Vehicles used for CWV

Type	Description (ton)
Truck	10, 7, 5, 2.5, 2, 1.5, 1.25, PLS
Trailer	MTVR, HEMAT, PLS, 22, 5

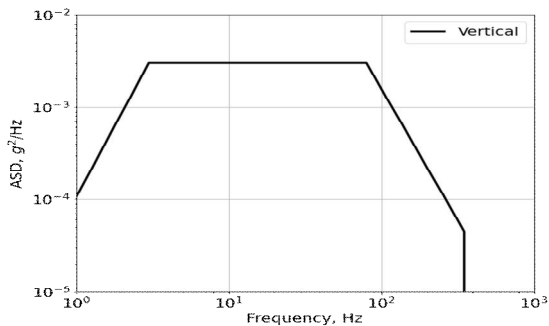


Fig. 2 Rail cargo vibration exposure convert to ASD

이나 철도에 의한 운송 시 진동에 의해 컨테이너 구조물의 파손이 발생하게 되면 전력공급에 있어 완전한 성능을 발휘하지 못하게 되어 레이더 운용에 있어 매우 치명적 현상으로 나타날 것이다. 이와 같이 수송되는 내부 장치들이 적절한 성능을 발휘함을 보장하기 위해서는 컨테이너 구조물의 진동에 대한 구조적 안전성 평가가 필수적이다.

군용 환경시험 규격인 MIL-STD-810H Method 514.8에 기술된 내용 중 CWV(Composite Wheeled Vehicle)의 수송 환경에서 발생하는 진동 노출에 대한 부분은 실제 운용 야전환경과 유사한 테스트 코스에서 실험을 진행하여 ASD(Acceleration Spectral Density) 데이터를 획득하게 된다. 또한, 철도 수송

환경에 있어서 기차의 화물칸에서 수집된 ASD 데이터를 이용한다. 따라서 본 연구에서는 레이더 전력공급용 이동식 컨테이너를 대상으로 랜덤 진동해석을 수행하여 최대 등가응력을 도출하였으며, 이에 따른 안전여유를 계산하여 구조적 안전성을 검토하였다.

2. 시험규격

전시에는 레이더가 발전시설로부터 전력공급을 원활히 받지 못하여 운용이 불가능한 상태가 발생할 수 있기 때문에 전력공급용 이동식 컨테이너는 매우 중요한 장치이며, 이러한 장치를 차량이나 철도를 이용한 운송 시 진동의 영향을 배제할 수 있어야 한다. 이에 따른 차량 진동 시험데이터는 MIL-STD-810H 514.8에 명시된 데이터 중 CWV에서 발생하는 진동 주파수에 따른 ASD 데이터를 Fig. 1에 나타내었다. Table 1은 ASD 데이터가 군에서 사용하는 트럭과 트레일러를 이용하여 ATC(Aberdeen Test Center)의 4가지 코스인 Belgian Block, Two-Inch Washboard, Radial Washboard 및 Three-Inch Spaced Bump에서 운행 후 획득한 진동데이터를 각 코스별로 가중치를 부여한 이후 합성하여 만들어진 것을 나타낸 것이다^[1-2]. 또한, Fig. 2는 철도에 의해 발생된 진동을 통해 ASD로 전환한 데이터를 나타내고 있다. 이 데이터들을 통해 CWV 및 철도에 의해 운송되는 이동식 컨테이너에 가해질 진동에 대한 해석의 입력데이터로 사용하였다.

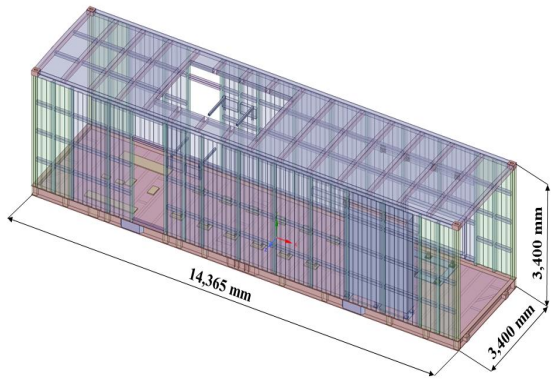
3. 해석 조건 및 방법

3.1 컨테이너 재질 및 형상

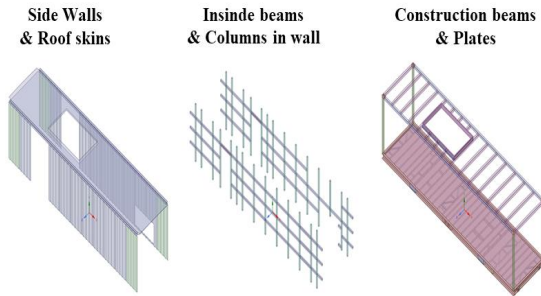
전력공급용 이동식 컨테이너는 내부에 여러 가지 기계 부품들이 위치해 있으며, 해석에 필요한 컨테이너의 재료 물성치는 Table 2와 같다. 컨테이너의 구조는 Fig. 3(a)와 같으며, 컨테이너의 구별 형상은 Fig. 3(b)와 같이 전체적인 틀을 이루는 빔, 외부벽면과 지붕, 내부 기둥과 바닥면으로 이루어져 있고, Fig. 3(c)에 나타낸 바와 같이 연료탱크, 엔진&발전기, 로드 뱅크&방열기 및 발전기 제어판넬 등이 컨테이너 내부에 위치해 있다^[3].

Table 2 Material properties of the container

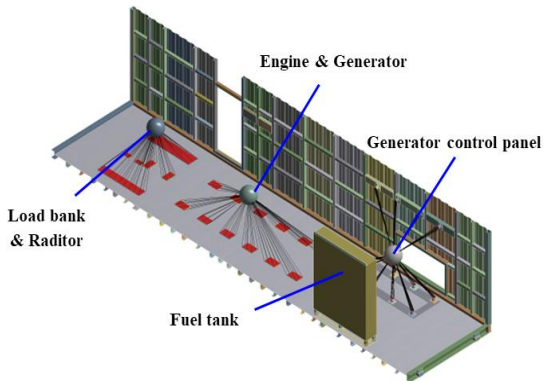
Type	Side walls & Roof skins	Inside beams & Columns in wall	Construction beams & Plate
Density	7,850kg/m ³	7,850kg/m ³	7,850kg/m ³
Young's Modulus	210GPa	210GPa	210GPa
Poisson's Ratio	0.3	0.3	0.3
Yield Strength	170MPa	355MPa	260MPa



(a) Overall structure



(b) Part of structure



(c) Internal components

Fig. 3 Container structure^[3]

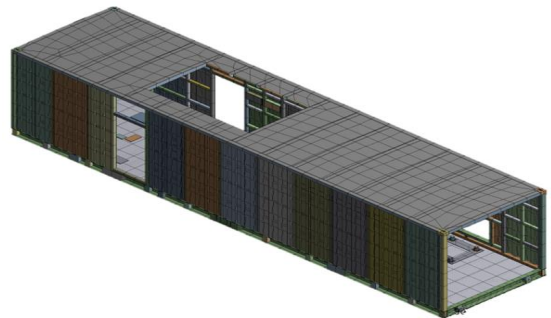


Fig. 4 Mesh of portable power supply container

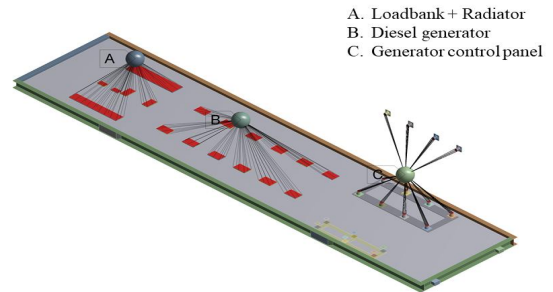


Fig. 5 Point mass of container inner components

3.2 요소분할 및 경계조건

컨테이너의 3D 모델링을 Fig. 4와 같이, Hexahedron mesh와 Tetrahedron mesh를 적용하여 육면체와 사면체로 격자 형상을 분할하였으며, 곡선부에는 Multizone method를 사용하여 mesh를 생성하였고, 32,147개의 절점과 14,022개의 요소로 구성되어 있다.

전력공급용 이동식 컨테이너 내부의 연료 탱크는 비어있는 상태로 가정하였으며, 발전기, 로드 बैं크 및 방열기 등 고정된 구성요소를 Fig. 5와 같이 각 장치의 중심부를 점질량(Point mass)의 좌표로 하였고, 질량과 부피를 입력하였으며, 변형 가능하게 설정하였다.

이에 따라 컨테이너 구조물과 함께 랜덤 진동해석 시 장치들의 영향도 함께 고려할 수 있도록 하였다. 컨테이너 지지를 위한 18개의 고정부를 Fixed support 구속조건을 지정하였다. 또한, 위치를 특정할 수 없는 구성요소의 경우 바닥면에 분포하중으로 입력하였다³⁾.

3.3 해석방법

모델링한 컨테이너와 내부 구성품들을 ANSYS 소프트웨어를 이용하여 모달해석을 위한 mesh를 생성하였고, 컨테이너의 랜덤 진동해석은 모달 해석의 결과값과 CWV 및 철도의 ASD 데이터를 입력값으로 하여 해석을 수행하였다. 모달 해석은 컨테이너의 각 모드 주파수, 모드 형상 및 변위를 해석하기 위해 사용하였고, 이 모달 해석의 결과값을 기반으로 CWV와 철도에서 발생한 진동 주파수와 ASD 데이터를 이용하여 랜덤 진동해석을 진행하였다⁴⁾.

ASD 데이터를 입력하기 전에 차량 및 기차에 적재되어 이동할 때의 컨테이너 좌표는 컨테이너가 적재된 상태에서 이동하는 방향을 종방향 x 축(세로)으로 정하였고, 진행방향의 횡방향을 z 축(가로), 수직방향을 y 축(수직)으로 하여 ASD 데이터를 각각 입력하였다.

또한, 미 군사규격의 진동조건에서 컨테이너 구조물의 구조적 안전성을 검토하기 위해 컨테이너 구조에 가해지는 등가응력을 계산하고, 등가응력과 항복강도를 비교하였으며, 안전여유를 계산하였다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 Modal Analysis

Fig. 1과 Fig. 2의 모든 ASD 데이터들을 랜덤 진동해석에 반영하기 위해 모드 주파수가 500Hz 까지 해석하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 해석결과 총 117개의 모드가 추출되었으며, 1st~3rd 모드는 각각 76.5Hz, 85.7Hz, 94.7Hz이고, 116th, 117th 모드는 각각 499.9Hz, 504.7Hz이다. 추출된 모드 중 1st~3rd 모드의 형상을 Fig. 7에 나타내었다. 1st 모드의 최대변위는 0.70mm로 컨테이너 외부 벽면에서 발생하였고, 2nd 모드의 최대변위는 0.55mm로 컨테이너

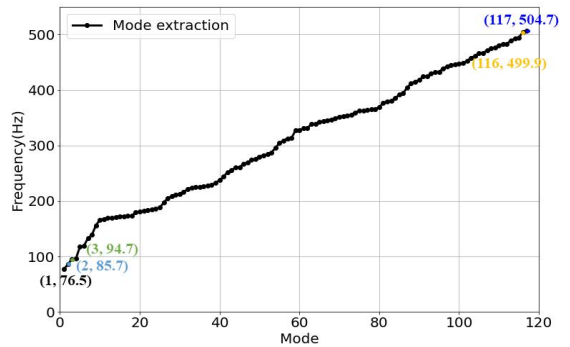


Fig. 6 Mode extraction results by modal analysis

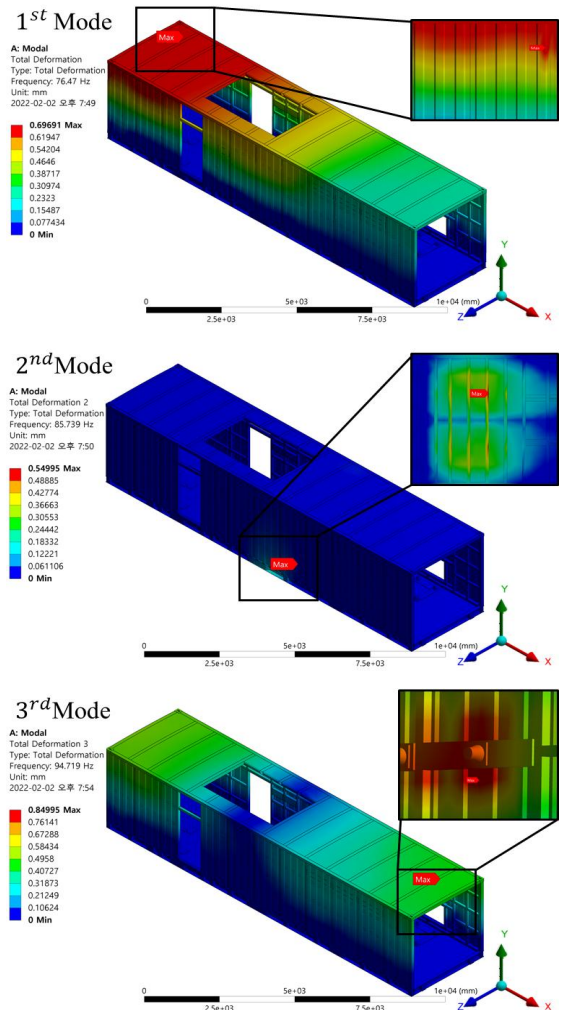


Fig. 7 1st ~ 3rd mode deformation shape

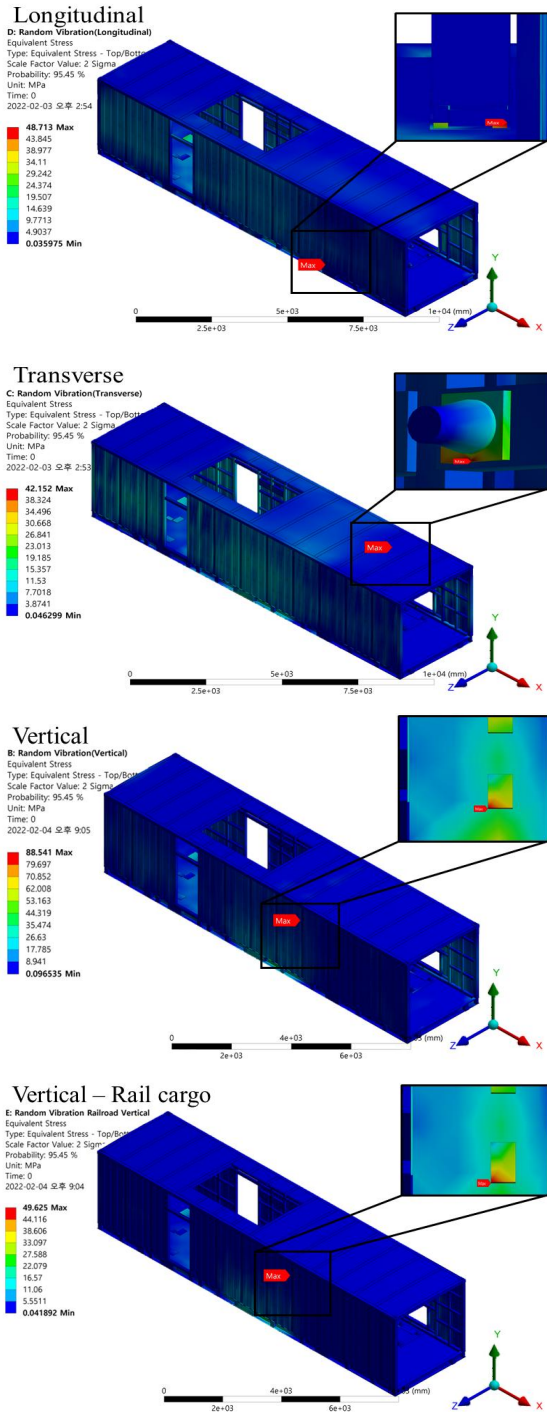


Fig. 8 Equivalent stress (CWV, Rail cargo)

Table 3 Max. equivalent stress(Von-mises) of container

Direction	Longitudinal	Transverse	Vertical
Value	48.7MPa	42.2MPa	88.5MPa

Table 4 Margin of safety of container

Direction	Longitudinal	Transverse	Vertical
Value	3.27	3.93	1.35
Location	Bracket	Bracket	Bracket

$$M.S = \frac{\sigma_y}{F.S \times \sigma} - 1 \quad (1)$$

하단 바닥면에서 나타났으며, 3rd 모드의 최대변위는 0.85mm로 컨테이너 내부의 발전기 제어 판넬의 브라켓 부근에서 계산되었다. 따라서, 모드 주파수가 변함에 따라 최대변위의 위치가 달라짐을 알 수 있다⁵⁾.

4.2 Random Vibration Analysis

모달 해석의 결과값과 ASD 데이터를 입력하여 랜덤 진동의 해석결과와 컨테이너의 구조적 안전성 도출을 위해 Scale factor value를 95.45%인 2σ 수준으로 하여 진행하였다⁶⁾. 해석을 통해 등가응력을 계산하였으며, 이때, 컨테이너의 최대 등가응력의 발생 위치를 Fig. 8과 Table 3에 나타내었다. 우선, CWV에서 종방향의 최대 등가응력은 연료 탱크 바닥면의 브라켓에서 48.7MPa이 발생하였으며, 횡방향에서는 발전기 제어 판넬의 브라켓에서 42.2MPa이 계산되었다. 또한, 수직방향에서는 디젤 발전기의 바닥면 브라켓에서 88.5MPa의 최대 등가응력이 도출되었다. 철도의 경우 수직방향에서 49.6MPa이 디젤 발전기의 바닥면 브라켓에서 발생하고, 종방향과 횡방향에서는 수직 방향보다 진동의 영향이 미미하였다.

전력공급용 컨테이너가 진동에 대한 적절한 구조적 안전성을 확보하기 위해서는 식 (1)에서 도출되는 안전여유의 값이 0 이상 요구되며, 일반적인 연성재료의 안전계수의 값은 1.25를 사용한다⁷⁾.

안전여유를 계산하기 위해 브라켓의 물성치는 Table 2의 Construction beams & Plate의 항복강도 260MPa를 적용하였으며, 각 방향의 안전여유를

Table 4에 나타내었다. CWV 랜덤 진동해석 결과로부터 최대응력이 발생한 디젤 발전기 바닥면 브라켓(88.5MPa)의 경우 다른 부분보다 재질의 항복강도 대비 안전여유가 가장 낮은 1.35로 산출되었다. 그러나 이는 구조적 안전성을 가지는 설계 요구조건인 안전여유 0 이상을 만족하므로 전력공급용 이동식 컨테이너가 차량에 탑재되어 운송될 때 컨테이너가 구조적 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있다^[8-9].

5. 결론

레이더 전력공급용 이동식 컨테이너를 대상으로 MIL-STD-810H Method 514.8에 기술된 시험규격을 통해 랜덤 진동해석을 진행하여 구조적 안전성을 검토하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 컨테이너의 진동 취약 부위는 수직방향에서는 디젤 발전기 바닥면의 브라켓, 종방향에서는 연료 탱크 바닥면의 브라켓, 횡방향에서는 발전기 제어 관널의 브라켓이다.
- 2) 컨테이너의 CWV 랜덤 진동해석 결과 수직 방향에서 디젤 발전기 바닥면의 브라켓에서 88.5MPa의 최대 등가응력이 발생하였지만 브라켓 물성치(260MPa)의 항복강도보다 낮음을 확인하였다.
- 3) CWV에서 운송 시 진동의 영향이 철도에서 운송 시의 경우보다 크므로 충분히 철도에서 운송이 가능하다.
- 4) 안전여유가 1.35로 전력공급용 이동식 컨테이너가 차량에 탑재되어 운송될 때 구조적 안전성을 확보하고 있다^[10-11].

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT연구센터 사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2022-2020-0-01612).

REFERENCES

1. MIL-STD-810H, "Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", Department of Defense, U.S., 514.8, 2019
2. Jang, J., Park, J. W., Lim, S. Y., Lee, C. S., and Lee, J. H., "The study on Changes of Vibration Test in MIL-STD-810H", The Korean Reliability Society, pp. 45-53, 2019.
3. Kown, J. E., Shin, D. W., and Hur, J. W., "Shock Analysis of Mobile Power Supply Container for Radar with MIL-STD-810H", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 24, No. 6, pp. 569-576, 2021.
4. Shin, G. H., Hur, J. W., "A Study on the Random Vibration Analysis of Large Scale Antenna", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 44-50, 2021
5. Shin, G. H., Hur, J. W., "A Study on the Shock Analysis of Large Scale Antenna", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 26-32, 2021
6. Jo, M. S., Kim, S. W., "Analysis of Structural Stability and Optical Performance for Optical Equipment During In-flight Vibration", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 41, No. 9, pp. 897-904, 2017.
7. Shin, D. J., Lee, S. J., Lee, J. H., Kang, K. H., Jin, H. S., Kim, K. S., "Environmental Specification Establishment of Transport Dynamic Property for Large Radar and Durability Analysis", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 5, pp. 600-607, 2018.
8. Kim, H. G., Kim, S. C., Choi, H. K., Hong, S. H., "Random Vibration Analysis of Fuel Pylon for Aircraft", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 196, 2021.
9. Kim, H. G., Kim S. J., Kim, S. C., Kim, T. U., "Structural Analysis of Fasteners in the Aircraft Structure of the High-Altitude Long-Endurance UAV", Journal of the Aerospace System Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 35-41, 2018.
10. Shin, D. J., Lee, J. H., Kang, Y. S., "Development Process of Mechanical Structure for a Large Radar",

Journal of the Korea Institute of Military Science
and Technology, Vol. 20, No.1, pp. 1-11, 2017.

11. Jo, M. S., Kim, I. M., Kim, S. W., “Verification
of Structural Stability for the Optical Equipment
about In-Flight Vibration”, Journal of the Korean
Society for Aeronautical and Space Sciences, pp.
107-108, 2016.